多种植物挥发物及马铃薯甲虫聚集素对马铃薯甲虫的引诱作用

李　源，赵　珮，尹春艳，刘小侠，张青文*
（中国农业大学农学与生物技术学院，北京　100193）

摘要：马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*（Say）是马铃薯上一种最主要的毁灭性害虫。由于其严重的抗药性，急需寻找一种替代杀虫剂的防治方法。本实验从开发马铃薯甲虫引诱剂的目的出发，用“Y”型嗅觉仪测定了马铃薯甲虫对来自植物的7种挥发物单体、8个挥发物混合物配方以及马铃薯甲虫聚集素的行为反应，并进一步进行了田间诱集试验。室内生测结果表明，2-苯乙醇对马铃薯甲虫雌雄虫都有明显的引诱作用。芳樟醇＋水杨酸甲酯＋顺乙酸-3-已烯酯的混合物对马铃薯甲虫雄虫有很强的引诱作用(81.67%)，但是对雌虫引诱作用不明显(63.33%)。在其中加入马铃薯甲虫聚集素不但提高了对雄虫的引诱率(88.33%)，还消除了之前的雌雄性别间反应差异现象，使对雌虫的引诱率达到了83.33%。田间诱集结果显示，芳樟醇＋水杨酸甲酯＋顺乙酸-3-已烯酯＋马铃薯甲虫聚集素在所研究的引诱剂配方中引诱效果最好,从而为马铃薯甲虫发生的预测预报和诱杀技术提供了研究基础。

关键词：马铃薯甲虫；植物挥发物；聚集素；行为反应；引诱
中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2010)07-0734-07

Attraction of *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) by several plant volatiles and aggregation pheromone

LI Yuan, ZHAO Pei, YIN Chun-Yan, LIU Xiao-Xia, ZHANG Qing-Wen* (College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The Colorado potato beetle (CPB), *Leptinotarsa decemlineata* (Say), is one of the most notorious insect pests of potato. Because of its serious resistance to pesticides, an alternative control of CPB is desperately needed. In order to develop an effective attractant for trapping CPB, the behavioral responses of CPB to seven plant-derived volatiles, eight odorous blends, and CPB aggregation pheromone were tested by the Y-tube olfactometer. Field trapping was further conducted based on the results of laboratory behavioral bioassays. The results of laboratory behavioral bioassays showed that 2-phenylethanol was attractive to both sexes. While male beetles were strongly attracted to a three-component blend [comprised of (*Z*)-3- hexenyl acetate + linalool + methyl salicylate] (81.67%), females showed low attraction (63.33%). The addition of aggregation pheromone to the three-component blend increased the attraction percentage of both male (88.33%) and female beetles (83.33%), and reduced the difference between the responses of sexes. The results of field tests indicated that the combination of the pheromone and the blend of three-component plant volatiles exhibited the highest attraction to CPB in the field. So these results provide a basis for the use of the pheromone and plant volatiles as a component of forecast and control of the CPB.

Key words: *Leptinotarsa decemlineata*; plant volatiles; aggregation pheromone; behavior response; attraction

马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*（Say）属鞘翅目叶甲科，又称马铃薯叶甲，是世界著名的毁灭性检疫害虫。马铃薯甲虫自20世纪90年代从哈萨克斯坦口岸传入我国新疆塔城、伊犁等地，现已扩展到新疆伊犁、塔城、阿勒泰、博乐、奎屯、石河子、昌吉、巴音郭楞和乌鲁木齐市11个地(州)、师的35个县(市)、258个乡(镇、团场)，发生行政辖区总面积29.72万km^2，耕地面积发生范围2 073.4万亩(王俊

基金项目：国家行业专项“马铃薯甲虫防控技术研究与示范”项目（200803024）。
作者简介：李源，男，1985年3月生，甘肃平凉人，硕士研究生，主要从事昆虫化学生态学研究，E-mail：cauliyuan@gmail.com
* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhangqingwen@263.net
收稿日期 Received：2010-01-08；接受日期 Accepted：2010-03-29

等，2008）。据报道，该虫仅在伊犁河谷每年发生面积约0.7万km^2，造成直接经济损失达1 000多万元，严重发生田块产量损失达50%以上（何海明，2005）。目前对于马铃薯甲虫的防治仍以化学防治为主，而在美国马铃薯甲虫已对25种以上杀虫剂产生了抗药性（Roush *et al.*，1990；Grafius，1997），所以寻找一种能够替代杀虫剂或配合杀虫剂防治的方法势在必行。

引诱剂作为一种替代化学农药或增强化学农药防治效果的防治药剂，被用于影响害虫交配、寄主选择以及初期害虫种群数量的控制和监测上。Martel等（2007）研究发现在拟除虫菊酯中加入一种由3种植物挥发物所构成的引诱剂可以作为一种诱杀剂对马铃薯甲虫起到很好的防治作用。引诱剂的主要化学成分为影响昆虫行为的化学信号物质，包括植物挥发物和昆虫产生的信息素（Hartlieb and Anderson，1999），其中对昆虫具有引诱作用的植物挥发物主要为寄主植物所挥发的物质；具有引诱作用的信息素主要包括性信息素和聚集素。而聚集素的引诱作用可以被寄主植物挥发物所增强（Dickens，1989；Dickens *et al.*，1990）或者被非寄主植物挥发物所打断（Dickens *et al.*，1992）。

目前研究表明对马铃薯甲虫具有触角电位反应的寄主植物挥发物包括：芳樟醇、水杨酸甲酯、顺乙酸-3-己烯酯、（*Z*）-3-己烯-1-醇、（*E*）-2-己烯-1-醇、壬醛和2-苯乙醇（Dickens，1999，2002）。Dickens等（2002）发现了马铃薯甲虫聚集素，其结构为一种单一对映体（S）-3，7-dimethyl-2-oxo-6-octene-1，3-dio［（S）-CPB-1］（Oliver *et al.*，2002）。（S）-CPB-1的商业化合成路线的发现（Mori and Tashiro，2004；Bathini，2009），使得进一步开发一种含有植物挥发物和马铃薯甲虫聚集素的马铃薯甲虫引诱剂成为可能。

本实验的目的在于通过室内行为选择试验，筛选对马铃薯甲虫具有强引诱作用的植物挥发物或其混合物，将筛选出的植物挥发物和马铃薯甲虫聚集素进行田间诱集试验，以确定其田间引诱作用，为开发马铃薯甲虫引诱剂提供研究基础。

1　材料和方法

1.1　供试昆虫

于新疆昌吉市马铃薯大田中采集4龄马铃薯甲虫幼虫，然后在实验室用紫花白马铃薯叶片饲养。并使其在栽有马铃薯的花盆中入土化蛹。对刚羽化出土的成虫分雌雄于不同的塑料盒内，用新鲜的马铃薯叶片饲养，每天更换叶片一次并清洗干净塑料盒。实验采用羽化后6－15 d的成虫。实验前对供试昆虫饥饿处理2～3 h，然后黑暗处理1～2 h。

1.2　供试植物挥发物及马铃薯甲虫聚集素

本试验以Visser（1979）和Dickens（1999，2002）所做的马铃薯甲虫对寄主植物挥发物的触角电位反应为基础，选择了以下有较高生物活性的植物挥发物（表1）。马铃薯甲虫聚集素由中国农业大学理学院农药合成实验室协助合成。这些用于室内行为测定试验的化合物的名称、纯度及来源如表1所示。

表1　室内行为测定试验所用化合物的名称、纯度和来源

Table 1　Name, purity and source of compounds for laboratory behavioral bioassays

化合物 Compounds	纯度 Purity	来源 Source
芳樟醇 Linalool	97%	Aldrich
壬醛 Nonanal	95%	Aldrich
水杨酸甲酯 Methyl salicylate	99%	Acros
顺乙酸-3-己烯酯 (*Z*)-3- hexenyl acetate	98%	Sigma
2-苯乙醇 2-Phenylethanol	99%	Sigma
(*Z*)-3-己烯-1-醇 (*Z*)-3-hexen-1-ol	98%	Acros
(*E*)-2-己烯-1-醇 (*E*)-2-hexen-1-ol	96%	Acros
聚集素 (S)-3,7-dimethyl-2-oxo-6-octene-1,3-diol	98%	实验室合成 Sythesized in this study

1.3　室内行为测定试验

1.3.1　室内行为测定试验方法：采用“Y”型嗅觉仪，参照李继泉等（2003）以及严善春等（2006）改进而成。依次由QC-1（B）型大气采样仪、活性炭过滤装置、GDX-101过滤装置、空气加湿器、250 mL三角瓶陷阱和“Y”形管组成，各部件之间用硅胶管连接，“Y”形管的适应臂长20 cm、直径4 cm，测试臂长20 cm、直径3 cm，两臂之间的夹角为80°（图1）。

植物挥发物的标样分别用石蜡油稀释至2.5 μg/μL，马铃薯甲虫聚集素用正己烷稀释至1 μg/μL。测定每种物质时，吸取25 μL的溶液滴在2 cm^2的定性滤纸上，放入一侧的三角瓶陷阱内，另一侧的三角瓶陷阱内放滴有25 μL相应溶剂的定性滤纸作为对照。如果测定的物质为混合物，则按照相同的比率加入各种物质，并使其总量为25 μL，例如：芳樟醇＋顺乙酸-3-己烯酯＋水杨酸甲酯的3种物质的混合物，则各加入8.3 μL。如果测定的物

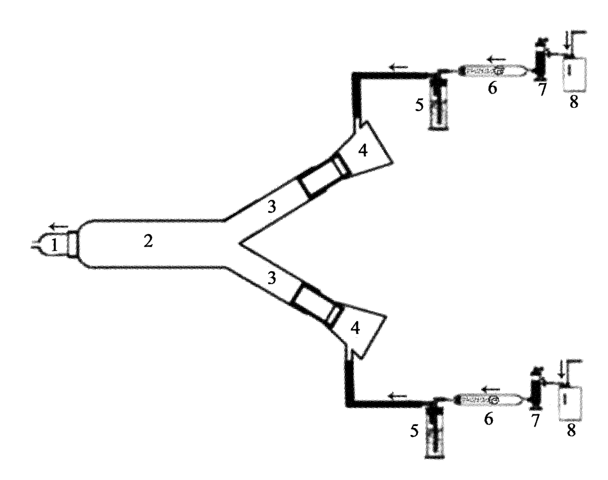


图 1 马铃薯甲虫行为反应测定装置简图

Fig. 1 Diagram of Y-tube olfactometer used to test the behavior of *Leptinotarsa decemlineata* (Say)

1：引虫口 Insect entry；2：适应臂 Adapting arm；3：测试臂 Test arms；4：三角形陷阱 Triangle traps；5：空气加湿器 Humidifier；6：GDX-101 空气过滤装置 GDX-101 Air filter；7：活性炭空气过滤装置 Charcoal filter；8：QC-1(B)型大气采样仪 QC-1(B) Air sampler.

质是单纯的植物挥发物或者马铃薯甲虫聚集素，则将溶液滴在滤纸的中间。如果测定的物质是植物挥发物和聚集素的混合物，则将植物挥发物溶液滴在滤纸的中心，而将聚集素溶液滴在滤纸的边缘。每完成一次测试，将样品与对照的位置互换，并更换一次滤纸，以消除方位和浓度降低所产生的影响。测定的空气流量为 1 L/min。整个实验在温度为 25℃左右避光的实验室内进行。唯一的光源为 2 盏置于“Y”型嗅觉仪上方且与“Y”形管支臂平行的 40 W 日光灯。如果马铃薯甲虫在 10 min 内进入测试臂 5 cm 以内记为一次有效测定，否则记为无反应。每次测定投放 1 头试虫，每种物质有效测定雌雄成虫各 20 头。

1.3.2 室内行为测定试验数据分析：室内行为测定的试验数据采用 χ^2 检验比较差异显著性。数据分析软件为 SPSS 13.0。引诱率的计算方法为：引诱率 = (有效测定的总虫数 − 对照臂的虫数)/有效测定的总虫数 × 100%

1.4 田间诱集试验

1.4.1 田间诱集试验方法：马铃薯甲虫聚集素被溶解在含有 20% 聚乙二醇、42% 甲醇、25% 甘油和 13% 的蒸馏水的混合溶液中，稀释至 1 μg/μL。芳樟醇、水杨酸甲酯和顺乙酸-3-己烯酯 3 种物质的混合物以 1∶1∶1 的比例稀释在以上混合溶剂中，使混合物浓度为 1% (V/V)。2-苯乙醇也用相同的混合溶剂稀释至 1% (V/V)。对于马铃薯甲虫聚集素 + (芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯)的处理，则在混合好的 1% 的芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯混合药剂中加入马铃薯甲虫聚集素，使聚集素的浓度为 1 μg/μL。所有试剂均在田间试验前的1 ~2 h内配好。实验前将配好的试剂吸取1 mL装在2 mL的离心管中，离心管的侧边钻 4 个直径约1.5 mm的小孔使里面的挥发物质得以缓慢释放。

在马铃薯大田中选取直径为 6 m 的一片马铃薯地块，试验前清除这片地块上及地块周围的马铃薯甲虫。并将此地块划分为一个正六边形，在六个角上埋入直径为 30 cm 的装满水的塑料盆，在水中放入少量洗衣粉并使盆沿与周围地面平行。试验时，用铁丝将装好引诱剂的离心管悬挂在离塑料盆约 40 cm 的正上方。六个角上依次放上两种含有诱剂的离心管和对照用的只含有混合溶剂的离心管。使每两个含有相同试剂的离心管处在对角线位置。重复试验时，变更诱剂的方位，通过 3 次方位变更，刚好可以消除方位因素带来的影响。挂好诱剂后将处理好的 200 头雌虫或雄虫释放于六边形地块的中心位置。释放试虫后开始计时，每 6 h 收集一次掉入陷阱(水盆)的试虫，连续收集 24 h。田间试验的设计简图如图 2。

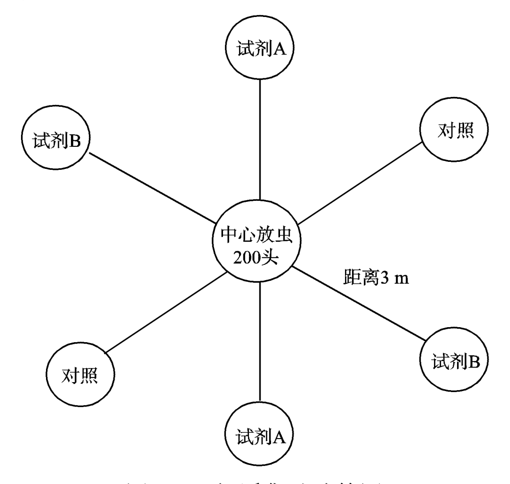


图 2 田间诱集试验简图

Fig. 2 Scheme of field bait trap experiments

1.4.2 田间诱集试验数据处理：田间诱集数据采用 *t* 检验检测差异显著性，数据分析软件为 SPSS 13.0。

2 结果与分析

2.1 室内行为测定试验结果

马铃薯甲虫对所测试的 7 种植物挥发物单体、8 种挥发物混合物、马铃薯甲虫聚集素以及芳樟醇

+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯+马铃薯甲虫聚集素的混合物的“Y”型嗅觉反应结果如表 2 所示。2-苯乙醇(5 号试剂)对马铃薯甲虫雄虫和雌虫都具有比较高的引诱作用，引诱率分别为 73.33% 和 71.67%。芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯 3 种物质的混合物(13 号试剂)对马铃薯甲虫的引诱作用具有性别间反应差异现象：雄虫具有很高的引诱率(81.67%)，但是对雌虫的引诱率并不高(63.33%)。另外，芳樟醇(1 号试剂)、顺乙酸-3-己烯酯(4 号试剂)、顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯(9 号试剂)对马甲雄虫表现为引诱作用，芳樟醇(1 号试剂)对马甲雌虫表现为引诱作用，但是引诱率都很低，对进一步进行田间诱集试验意义不大。

马铃薯甲虫聚集素(8 号试剂)对马铃薯甲虫雄虫和雌虫都具有很高的引诱率，分别为 78.33% 和 76.67%。有意思的是在芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯中加入马铃薯甲虫聚集素(17 号试剂)不但提高了雄虫的引诱率(88.33%)，也消除了之前的雌雄反应差异现象，对雌虫的引诱率达到 83.33%。

表 2　马铃薯甲虫对多种植物挥发物单体、混合物和聚集素的嗅觉反应

Table 2　Behavioral responses of *Leptinotarsa decemlineata* to several plant volatiles and aggregation pheromone

化合物 Compound	雄虫 Male			雌虫 Female		
	处理数:对照数 Treatment:control	引诱率(%) Luring percentage	*P* 值 *P*-value	处理数:对照数 Treatment:control	引诱率(%) Luring percentage	*P* 值 *P*-value
1	32:28	53.33	0.047	34:26	53.67	0.005
2	32:28	53.33	0.519	31:29	51.67	0.621
3	32:28	53.33	0.519	31:29	51.67	0.621
4	23:37	38.33	0.002	30:30	50.00	1.000
5	44:16	73.33	0.005	43:17	71.67	<0.001
6	32:28	53.33	0.345	25:35	41.67	0.121
7	31:29	51.67	0.791	29:31	48.33	0.791
8	47:13	78.33	<0.001	46:14	76.67	<0.001
9	36:24	60.00	0.008	34:26	56.67	0.099
10	34:26	56.67	0.099	29:31	48.33	0.715
11	25:35	41.67	0.002	25:35	41.67	0.056
12	29:31	48.33	0.621	36:24	60.00	0.138
13	49:11	81.67	<0.001	38:22	63.33	0.013
14	29:31	48.33	0.621	23:37	38.33	0.008
15	29:31	48.33	0.621	27:33	45.00	0.288
16	30:30	50.00	1.000	32:28	53.33	0.345
17	53:7	88.33	<0.001	50:10	83.33	<0.001

化合物 Compounds：1：芳樟醇 Linalool；2：壬醛 Nonanal；3：水杨酸甲酯 Methyl salicylate；4：顺乙酸-3-己烯酯(*Z*)-3- hexenyl acetate；5：2-苯乙醇 2-Phenylethanol；6：(*Z*)-3-己烯-1-醇(*Z*)-3-hexen-1-ol；7：(*E*)-2-己烯-1-醇(*E*)-2-hexen-1-ol；8：马铃薯甲虫聚集素 Aggregation pheromone；9：顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯(*Z*)-3- hexenyl acetate + methyl salicylate；10：芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯 Linalool + (*Z*)-3- hexenyl acetate；11：芳樟醇+水杨酸甲酯 Linalool + methyl salicylate；12：(*Z*)-3-己烯-1-醇+(*E*)-2-己烯-1-醇(*Z*)-3-hexen-1-ol + (*E*)-2-hexen-1-ol；13：芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯 Linalool + (*Z*)-3- hexenyl acetate + methyl salicylate；14：芳樟醇+(*Z*)-3-己烯-1-醇(微量)+(*E*)-2-己烯-1-醇(微量)Linalool + (*Z*)-3-hexen-1-ol^{low} + (*E*)-2-hexen-1-ol^{low}；15：芳樟醇+壬醛+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯 Linalool + nonanal + (*Z*)-3- hexenyl acetate + methyl salicylate；16：芳樟醇+壬醛+水杨酸甲酯+(*Z*)-3-己烯-1-醇(微量)+(*E*)-2-己烯-1-醇(微量)Linalool + nonanal + methyl salicylate + (*Z*)-3-hexen-1-ol^{low} + (*E*)-2-hexen-1-ol^{low}；17：芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯+马铃薯甲虫聚集素 linalool + (*Z*)-3- hexenyl acetate + methyl salicylate + aggregation pheromone. 化合物中的微量指正常含量的 1/10，即浓度为 0.25 μg/μL。“Low”refers to 1/10 of the normal concentration, namely 0.25 μg/μL.

根据以上室内行为测定试验的结果，我们选择了引诱率较高的 2-苯乙醇、芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯、马铃薯甲虫聚集素、芳樟醇+顺乙酸-3-己烯酯+水杨酸甲酯+马铃薯甲虫聚集素，

即5，8，13 和17 号共4 种引诱剂配方进行田间诱集试验，进一步确定田间的引诱作用。

2.2 田间诱集试验结果

田间诱集试验的结果如表3 所示，2-苯乙醇田间诱虫量虽然和对照具有显著性差异，但是在很高的虫口密度下诱虫量很低，即：释放试虫后的24 h 内每个诱捕器平均诱虫量为雄虫3.33 头，雌虫2.17头。芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯的田间诱集结果和室内试验结果一致，也具有雌雄反应差异现象，对雄虫具有较高的诱虫量(6.17 头)，而对雌虫的引诱作用和对照差异不显著。

马铃薯甲虫聚集素的田间诱虫数虽比较高，雄虫为7.83 头，雌虫为7.5 头。但是这组试验的对照诱虫数也比较高，雌雄分别为3.33 头和2.17 头。当在芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯中加入马铃薯甲虫聚集素之后不但消除了雌雄反应差异现象，也使诱虫量大幅增加，雌雄的诱虫量分别为14.17 头和14.67 头。

表3 田间诱集试验平均诱虫量

Table 3 Mean number of *Lepinotarsa decemlineata* adults trapped in field bait trap experiments

化合物 Compound	雄虫 Male			雌虫 Female		
	处理诱虫数 Treatment	对照诱虫数 Control	P 值 P-value	处理诱虫数 Treatment	对照诱虫数 Control	P 值 P-value
A	3.33 **	1.00	0.0123	2.17 **	0.50	0.0103
B	6.17 **	1.00	0.0021	0.83	0.50	0.4012
C	7.83 **	2.00	0.0004	7.50 **	3.00	0.0012
D	14.67 **	2.00	0.0001	14.17 **	3.00	0.0001

化合物 Compounds：A：2-苯乙醇 2-Phenylethanol；B：芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯 Linalool + (*Z*)-3-hexenyl acetate + methyl salicylate；C：马铃薯甲虫聚集素 Aggregation pheromone；D：马铃薯甲虫聚集素 +（芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯）Aggregation pheromone + (linalool + (*Z*)-3-hexenyl acetate + methyl salicylate)。诱虫数为3 次重复试验共6 个诱捕器中诱虫的平均数。表中的星号表示处理诱虫数和对照诱虫数间差异显著，$P<0.05$；两个星号表示差异极显著，$P<0.01$。Adults trapped are the mean of three replicates in six traps. Asterisks indicate different significance by "*t*" test compared between the treatments and the control, "*" ($P<0.05$) and "**" ($P<0.01$).

3 结论与讨论

从室内行为反应测定的试验结果来看，芳樟醇 + 乙酸叶醇酯 + 水杨酸甲酯的混合物虽然对马铃薯甲虫雄虫引诱率很高(81.67%)，而对雌虫的引诱率却很低(63.33%)。这与国外其他研究工作者的研究结果基本一致(Dickens, 2000)。但是顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯，芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯，芳樟醇 + 壬醛 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯，芳樟醇 + 壬醛 + 水杨酸甲酯 + (*Z*)-3-己烯-1-醇(微量) + (*E*)-2-己烯-1-醇(微量)4 种混合物(即室内生测试验的9，10，15 和16 号试剂)均对马铃薯甲虫不具有引诱性或引诱率极低，这与 Dickens (2000)的研究结果却不一致，导致这种情况产生的原因可能与马铃薯甲虫的种群差异性有关。比如，在美国马铃薯甲虫的寄主植物包括番茄，而在新疆用番茄饲养马铃薯甲虫则不能使其正常完成世代发育，说明在新疆番茄不能作为马铃薯甲虫的独立寄主。从室内行为反应测定的结果也可以看出，对马铃薯甲虫起引诱作用的植物挥发物主要包括2-苯乙醇以及芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯的混合物，而其他的挥发物单体或混合物却对马铃薯甲虫引诱作用不明显。

在触角电位的研究中(Dickens, 2002)，对马铃薯甲虫触角产生强烈电位反应的化合物包括：2-苯乙醇、壬醛和马铃薯甲虫聚集素。通过室内行为反应试验我们也进一步证实了2-苯乙醇和马铃薯甲虫聚集素确实对马铃薯甲虫具有很高的引诱率(表2 中的5、8 号试剂)。而壬醛的单体却不具有引诱作用，这一点与 Schütz 等(1997)的研究结果相同。

近些年来关于寄主植物挥发物和昆虫信息素的互作的研究很多(Landolt, 1997; Landolt and Phillips, 1997; Reddy and Guerrero, 2004)。在鞘翅目昆虫中，首先发现信息素的作用被寄主植物挥发物所加强是在南部松小蠹 *Dendroctonus frontalis* 中，南部松小蠹所产生的聚集素的作用被其寄主植物挥发物 α-蒎烯所加强(Renwick and Vité, 1969)。最佳的使用信息素进行害虫防治的方法可能需要依靠寄主植物挥发物和昆虫信息素的互作作为基础

(Landolt and Phillips, 1997)。在本研究中，不论是室内生测试验还是田间诱集试验，在芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯的混合物中加入马铃薯甲虫聚集素之后，不但消除了之前的雌雄反应差异现象，也使引诱率得到提升，由此可见芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯的混合物对马铃薯甲虫聚集素的引诱作用起着增强的作用。

从田间诱集试验的结果我们可以看出，2-苯乙醇在田间也具有一定的引诱作用(表 3)，但是引诱效果不是很好。芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯的混合物和马铃薯甲虫聚集素在田间都具有一定的引诱作用(Martel *et al*., 2005)，本研究田间诱集试验的结果也再次证明了这一点(表 3)。另外马铃薯甲虫聚集素 + (芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯)的田间诱集结果(表 3)显示，在芳樟醇 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 水杨酸甲酯的混合物中加入马铃薯甲虫聚集素可以使田间诱虫数得到提升，这也说明了以芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 马铃薯甲虫聚集素作为引诱剂可能最具田间应用前景。

不过我们也从结果中发现在释放虫量达 200 头的高虫口密度下，以芳樟醇 + 水杨酸甲酯 + 顺乙酸-3-己烯酯 + 马铃薯甲虫聚集素作为引诱剂田间 24 h 内引诱到的虫量只占释放虫量的 14.5%。这可能与马铃薯甲虫在田间不善飞行的惰性有关。另外我们也在试验中发现，在引诱 24 h 后，诱剂几乎不再具有引诱作用，这可能与所选用的助剂和诱剂的载体有关，但是具体原因需要进一步探究。因此，如何解决马铃薯甲虫田间的惰性给田间引诱带来的不利问题，挥发物质最佳浓度的控制以及缓释技术的研究将是进一步研究的重点。

参 考 文 献 (References)

Bathini NB, 2009. Enantioselective synthesis of (S)-3,7-dimethyl-2-oxo-6-octene-1,3-diol: a Colorado potato beetle pheromone. *Tetrahedron Lett*., 50: 66 – 67.

Dickens JC, 1989. Green leaf volatiles enhance aggregation pheromone of boll weevil, *Anthonomus grandis* Boh. (Coleoptera: Curculionidae). *Entomol. Exp. Appl*., 52: 191 – 203.

Dickens JC, 1999. Predator-prey interactions: Olfactory adaptations of generalist and specialist predators. *Agric. Forest Entomol*., 1: 47 – 54.

Dickens JC, 2000. Orientation of Colorado potato beetle to natural and synthetic blends of volatiles emitted by potato plants. *Agric. Forest Entomol*., 3: 167 – 172.

Dickens JC, 2002. Behavioural responses of larvae of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae), to host plant volatile blends attractive to adults. *Agric. Forest Entomol*., 4: 309 – 314.

Dickens JC, Billings RF, Payne TL, 1992. Green leaf volatiles interrupt aggregation pheromone response in bark beetles infesting southern pines. *Experientia*, 48: 523 – 524.

Dickens JC, Jang EB, Light DM, Alford AR, 1990. Enhancement of insect pheromone responses by green leaf volatiles. *Naturwissenschaften*, 77: 29 – 31.

Dickens JC, Oliver JE, Hollister B, Davis JC, Klun JA, 2002. Breaking a paradigm: Male-produced aggregation pheromone for Colorado potato beetle. *J. Exp. Biol*., 205: 1925 – 1933.

Grafius E, 1997. Economic impact of insecticide resistance in the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on the Michigan potato industry. *J. Econ. Entomol*., 90: 1144 – 1151.

Hartlieb E, Anderson P, 1999. Olfactory-released behaviours. In: Hansson BS ed. Insect Olfaction. Springer-Verlag, Berlin. 315 – 349.

He HM, 2005. Occurrence and control of Colorado potato beetle in Yili area. *China Plant Protection*, 25(4): 32 – 34. [何海明, 2005. 蔬菜花斑虫在伊犁河谷的发生与防治研究. 中国植保导刊, 25(4): 32 – 34]

Landolt PJ, 1997. Sex attractant and aggregation pheromones of male phytophagous insects. *Am. Entomol*., 43: 12 – 22.

Landolt PJ, Phillips TW, 1997. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Ann. Rev. Entomol*., 42: 371 – 391.

Li JQ, Fan H, Jin YJ, 2003. Behavior response of *Anoplophora glabripennis* to the mechanical wounded and herbivore-fed ashleaf maples. *Journal of Beijing Forestry University*, 25(5): 42 – 46. [李继泉, 樊慧, 金幼菊, 2003. 光肩星天牛对损伤后复叶槭植株的行为反应. 北京林业大学学报, 25(5): 42 – 46]

Martel JW, Alford AR, Dickens JC, 2005. Synthetic host volatiles increase efficacy of trap cropping for management of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Agric. Forest Entomol*., 7: 79 – 86.

Martel JW, Alford AR, Dickens JC, 2007. Evaluation of a novel host plant volatile-based attracticide for management of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Crop Protection*, 26: 822 – 827.

Mori K, Tashiro T, 2004. Useful reactions in modern pheromone synthesis. *Curr. Org. Synth*., 1: 11 – 29.

Oliver JE, Dickens JC, Glass TE, 2002. (S)-3,7-dimethyl-2-oxo-6-octene-1,3-diol: an aggregation pheromone of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Tetrahedron Lett*., 43: 2641 – 2643.

Reddy GVP, Guerrero A, 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant Sci*., 9: 253 – 261.

Renwick JAA, Vité JP, 1969. Bark beetle attractants: Mechanism of colonization by *Dendroctonus frontalis*. *Nature*, 224: 1222 – 1223.

Roush RT, Hoy CW, Ferro DN, Tingey WM, 1990. Insecticide resistance in the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae): Influence of crop rotation and insecticide use. *J.

Econ. Entomol., 83: 315 – 319.

Schütz S, Weiβbecker B, Klein A, Hummel HE, 1997. Host plant selection of the Colorado potato beetle as influenced by damage induced volatiles of the potato plant. *Naturwissenschaften*, 84: 212 – 217.

Visser JH, 1979. Electroantennogram responses of the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, to plant volatiles. *Entomol. Exp. Appl.*, 25: 86 – 97.

Wang J, Wang DY, Hou H, 2008. Occurrence and control of Colorado potato beetle in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 3: 60. [王俊, 王登元, 侯洪, 2008. 新疆马铃薯甲虫的发生与防治现状. 新疆农业科技, 3: 60]

Yan SC, Cheng H, Yang H, Yuan HE, Zhang J, Chi DF, 2006. Effects of plant volatiles on the EAG response and behavior of the grey tiger longicorn, *Xylotrechus rusticus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomol. Sin.*, 49(5): 759 – 767. [严善春, 程红, 杨慧, 袁红娥, 张健, 迟德富, 2006. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的 EAG 和行为反应. 昆虫学报, 49(5): 759 – 767]

(责任编辑: 袁德成)